

**METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCING THREE-DIMENSIONAL SHAPE MOLDED ARTICLE**

Publication number: JP2002038201 (A)

Also published as:

Publication date: 2002-02-06

JP3943315 (B2)

Inventor(s): ABE SATOSHI; YOSHIDA TOKUO;  
AZUMA YOSHIKAZU; MACHIDA  
SEIZO; TAKENAMI MASATAKA;  
FUWA ISAOApplicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC WORKS  
LTD

Classification:

- International: B29C67/00; B22F3/105;  
B29C67/00; B22F3/105; (IPC1-  
7): B22F3/105; B29C67/00

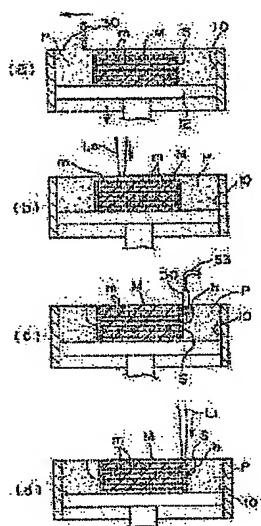
- European:

Application number: JP20000222973 20000724

Priority number(s): JP20000222973 20000724

**Abstract of JP 2002038201 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the quality performance of a three-dimensional shape molded article obtained by laminating sintered layers produced from powders by smoothing and also densifying its surface. **SOLUTION:** This method for producing a sintered article M from powders comprises repeating the operation of forming a sintered layer (m) by irradiating optical beams L on the layer of powders P comprising inorganic or organic materials, and laminating and integrating the plurality of sintered layers (m). In this case, the method includes a process (a) for separating or removing non-sintered powders P from the sintered molded article M, and a process (b) for melting and solidifying the powder portions adhered to the periphery of the molded article M, during the production of sintered article from powders.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1]A sintering layer is formed by making a predetermined place of a layer of powder which consists of minerals or quality of organicity irradiate with and sinter an optical beam, A lower sintering layer and a united sintering layer are formed by making a predetermined place of this powder irradiate with and sinter an optical beam, while covering a layer of said powder on this sintering layer, In a way two or more sintering layers produce a powder sintered part by which laminate integration was carried out by repeating this, A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material which includes a process (a) of separating or removing already sintered shaping material, and shaping material and powder which was not sintered, and a process (b) of carrying out the melting solidification of the powder portion which re-irradiated with an optical beam and adhered to the circumference of shaping material, during production of a powder sintered part.

[Claim 2]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material, wherein only a portion which needs accuracy performs said process (a) and a process (b) selectively in a method according to claim 1.

[Claim 3]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material carrying out lamination sintering of the different material over two or more layers in a method according to claim 1, and performing said process (a) and a process (b) for two or more sintering layers of every.

[Claim 4]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material removing powder more than the depth made to remelt at least in a method according to claim 1.

[Claim 5]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material re-irradiating with an optical beam in a process (b) in a method according to claim 1 between an irradiation position of an optical beam and a hardening end of shaping material which produce shaping material.

[Claim 6]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material glaring aslant to a laminated end surface of said sintering layer in a method according to claim 1.

[Claim 7]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material controlling irradiation angles of an optical beam in said process (b) in a method according to claim 1 based on shaping material model data.

[Claim 8]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material re-irradiating with an optical beam from an abbreviated horizontal direction to the end face of a sintering layer which takes out shaping material from a powdered layer after said process (a), and constitutes shaping material for said process (b) in a method according to claim 1.

[Claim 9]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material carrying out in a method according to claim 1 in atmosphere which pressurized said process (b).

[Claim 10]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material performing said process (b) by an inert gas atmosphere in a method according to claim 1.

[Claim 11]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material performing said process (b) in reducing gas atmosphere in a method according to claim 1.

[Claim 12]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material carrying out melting of the powder which raised skin temperature of shaping material by the 1st optical beam, and adhered said process (b) to the circumference of shaping material in the 2nd optical beam in a method according to claim 1 using two or more optical beams.

[Claim 13]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material after a re-exposure of an optical beam is completed at said process (b) in a method according to claim 1, wherein powder returns powder to a portion separated or removed.

[Claim 14]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material returning powder which has the melting point higher than powder which produces shaping material in a method according to claim 13.

[Claim 15]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material irradiating a layer part of shaping material with an optical beam on conditions that density will be abbreviated 100%, and forming a high density layer when irradiating with an optical beam and producing shaping material in a method according to claim 1.

[Claim 16]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material which is characterized by performing surface treatment processing on the surface of shaping material in a method according to claim 1 simultaneously between said process (a) and a process (b) with a process (b).

[Claim 17]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material, wherein said surface treatment processing performs said process (b) in a method according to claim 16, spraying powder on the surface of shaping material.

[Claim 18]A manufacturing method of three-dimensional shape shaping material, wherein said

surface treatment processing performs said process (b) in a method according to claim 16, spraying gas on the surface of shaping material.

[Claim 19]A device which enforces a manufacturing method of the three-dimensional shape shaping material according to any one of claims 1 to 18, comprising:

Optical beam re-irradiation equipment which re-irradiates the circumference of shaping material with an optical beam.

A deflection device into which the direction of radiation of an optical beam with which it re-irradiates is changed.

A table drive mechanism which drives a modeling part which accommodates powder.

A powder feed mechanism which supplies powder to a modeling part, and a powder removing mechanism in which powder which was not sintered is removed.

[Claim 20]A manufacturing installation of three-dimensional shape shaping material in which said powder removing mechanism is attached to said powder feed mechanism in the device according to claim 19.

[Claim 21]A manufacturing installation of three-dimensional shape shaping material in which said powder removing mechanism has XY drive mechanism in the device according to claim 19 and in which NC drive is possible in accordance with section contour shape of shaping material.

[Claim 22]A manufacturing installation of three-dimensional shape shaping material which equips said table drive mechanism with an excitation apparatus in the device according to claim 19.

[Claim 23]The device comprising according to claim 19:

An optical beam is supplied through an optical fiber and said optical beam re-irradiation equipment is an irradiation head with for the first time in [ a head / free ].

XY drive mechanism which carries an irradiation head.

[Claim 24]A manufacturing installation of three-dimensional shape shaping material in which said powder removing mechanism and an irradiation head have the same axle or XY drive mechanism adjoined and installed while said optical beam re-irradiation equipment has an irradiation head to which an optical beam is supplied through an optical fiber in the device according to claim 19.

[Claim 25]The device comprising according to claim 19:

A powder feed zone which accommodates powder supplied to said modeling part.

A powder return mechanism in which it is not sintered but removed powder is returned to a powder feed zone.

[Translation done.]

# Cited Document 4

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-38201

(P2002-38201A)

(43) 公開日 平成14年2月6日 (2002.2.6)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
B 22 F 3/105  
B 29 C 67/00

識別記号

F I  
B 22 F 3/105  
B 29 C 67/00

テマコード(参考)  
4 F 213  
4 K 018

審査請求 未請求 請求項の数25 OL (全14頁)

(21) 出願番号 特願2000-222973(P2000-222973)

(22) 出願日 平成12年7月24日 (2000.7.24)

(71) 出願人 000005832  
松下電工株式会社  
大阪府門真市大字門真1048番地  
(72) 発明者 阿部 諭  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内  
(72) 発明者 吉田 徳雄  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内  
(74) 代理人 100073461  
弁理士 松本 武彦

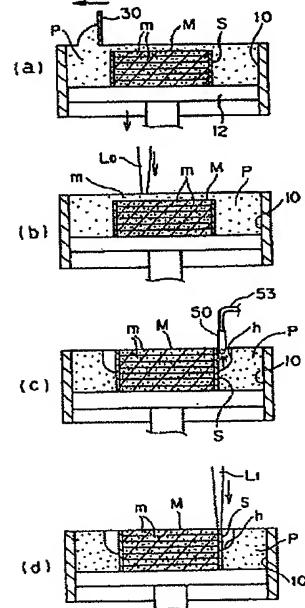
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】三次元形状造形物の製造方法および装置

### (57) 【要約】

【課題】粉末の焼結層を積層して形成される三次元形状造形物の表面を滑らかに、かつ、高密度化することで、造形物の品質性能を向上させる。

【解決手段】無機質あるいは有機質からなる粉末Pの層に光ビームL<sub>1</sub>を照射して焼結層mを形成する操作を繰り返し、複数の焼結層mが積層一体化された粉末焼結部品Mを作製する方法において、粉末焼結部品Mの作製中に、既に焼結された造形物Mと、造形物Mと焼結されなかった粉末Pとを分離もしくは除去する工程(a)と、光ビームL<sub>1</sub>を再照射し、造形物M周囲に付着した粉末部分を溶融固化Sさせる工程(b)とを含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】無機質あるいは有機質からなる粉末の層の所定個所に光ビームを照射して焼結させることによって焼結層を形成し、この焼結層の上に前記粉末の層を被覆するとともにこの粉末の所定個所に光ビームを照射して焼結させることによって下の焼結層と一体になった焼結層を形成し、これを繰り返すことによって複数の焼結層が積層一体化された粉末焼結部品を作製する方法において、

粉末焼結部品の作製中に、既に焼結された造形物と、造形物と焼結されなかった粉末とを分離もしくは除去する工程(a)と、

光ビームを再照射し、造形物周囲に付着した粉末部分を溶融固化させる工程(b)とを含む三次元形状造形物の製造方法。

【請求項2】請求項1に記載の方法において、精度の必要な部分のみ選択的に前記工程(a)および工程(b)を行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項3】請求項1に記載の方法において、異なる材料を複数層にわたり積層焼結し、前記工程(a)および工程(b)を複数の焼結層毎に行うことと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項4】請求項1に記載の方法において、少なくとも再溶融させる深さ以上の粉末を除去することと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項5】請求項1に記載の方法において、造形物を作製する光ビームの照射位置と造形物の硬化端との間に、工程(b)における光ビームを再照射することと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項6】請求項1に記載の方法において、前記焼結層の積層端面に対して斜めに照射することと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項7】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)における光ビームの照射角度を、造形物モデルデータに基づいて制御することと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項8】請求項1に記載の方法において、前記工程(a)のあと、造形物を粉末の層から取り出し、前記工程(b)を、造形物を構成する焼結層の端面に対して略水平方向から光ビームを再照射することと特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項9】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)を、加圧した窒素ガスで行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項10】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)を、不活性ガス雰囲気で行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項11】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)を、還元ガス雰囲気で行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

1 【請求項12】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)を、複数の光ビームを用い、第1の光ビームで造形物の表面温度を上昇させ、第2の光ビームで造形物の周囲に付着した粉末を溶融させることを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

2 【請求項13】請求項1に記載の方法において、前記工程(b)で光ビームの再照射が終了したあと、粉末が分離もしくは除去された部分に、粉末を戻すことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

10 【請求項14】請求項13に記載の方法において、造形物を作製する粉末よりも高い融点を有する粉末を戻すことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項15】請求項1に記載の方法において、光ビームを照射して造形物を作製する際に、造形物の表層部に、密度が約100%となるような条件で光ビームを照射して高密度層を形成しておくことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

20 【請求項16】請求項1に記載の方法において、前記工程(a)と工程(b)の間、または、工程(b)と同時に、造形物の表面に表面改質処理を行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項17】請求項16に記載の方法において、前記表面改質処理が、造形物の表面に粉末を吹きつけながら、前記工程(b)を行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項18】請求項16に記載の方法において、前記表面改質処理が、造形物の表面にガスを吹きつけながら、前記工程(b)を行うことを特徴とする三次元形状造形物の製造方法。

30 【請求項19】請求項1～18の何れかに記載の三次元形状造形物の製造方法を実施する装置であって、造形物の周囲に光ビームを再照射する光ビーム再照射装置と、

再照射する光ビームの照射方向を変える偏光装置と、粉末を収容する造形部を駆動するテーブル駆動機構と、造形部に粉末を供給する粉末供給機構と、焼結されなかった粉末を除去する粉末除去機構とを有する三次元形状造形物の製造装置。

40 【請求項20】請求項19に記載の装置において、前記粉末除去機構が前記粉末供給機構に取り付けられている三次元形状造形物の製造装置。

【請求項21】請求項19に記載の装置において、前記粉末除去機構が、X Y駆動機構を有し、造形物の断面輪郭形状に沿ってNC駆動が可能である三次元形状造形物の製造装置。

【請求項22】請求項19に記載の装置において、前記テーブル駆動機構に加振装置を備える三次元形状造形物の製造装置。

50 【請求項23】請求項19に記載の装置において、前記光ビーム再照射装置が、光ファイバーを経て光ビームが

供給され首振り自在な照射ヘッドと、照射ヘッドを搭載するX Y駆動機構とを有する三次元形状造形物の製造装置。

【請求項24】請求項19に記載の装置において、前記光ビーム再照射装置が光ファイバーを経て光ビームが供給される照射ヘッドを有するとともに、前記粉末除去機構と照射ヘッドとが同軸または隣接して設置されたX Y駆動機構を有する三次元形状造形物の製造装置。

【請求項25】請求項19に記載の装置において、前記造形部に供給する粉末を収容する粉末供給部と、焼結されず除去された粉末を粉末供給部に戻す粉末戻し機構を有する三次元形状造形物の製造装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無機質あるいは有機質の粉末材料に光ビームを照射して焼結層を形成し、この焼結層を積み重ねて所望の三次元形状を有する造形物を製造する方法と、この方法に用いる装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】無機質粉末（金属）や有機質粉末（樹脂）に対して光ビーム（指向性エネルギービーム、レーザ）を照射して硬化させ、硬化層を積層して三次元形状造形物を製造する方法に関する従来技術が、特許第2620353号公報に示されている。通常、上記方法により製造される部品の設計は、三次元CADによって行われる。設計された三次元CADモデルを所望の層厚みにスライスすることにより生成される各層の断面形状データをもとに、各層のレーザの経路が決定され、一層分の粉末が焼結（硬化）されると同時に、直前の層に対しても焼結（接合）され、連続して積み重ねることにより部品形状を製造する方法である。

【0003】この方法では、三次元CADにより設計された形状が、従来このような三次元形状造形物の製造に使用されていたCAM装置がなくても製造可能である。また、従来の切削加工等の工法に比べて、迅速に所望の部品が製造できる点で大きなメリットがある。また、上記方法で作製された造形物の表面仕上げ方法が、特開2000-73108号公報に開示されている。この方法は、金属粉末焼結部品の表面をなす各焼結層の端縁の突出する段差部分を除去する。

##### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記特開2000-73108号公報に記載の方法では、レーザ照射による仕上げ方法の場合、造形物と周辺の未硬化粉末を完全に分離しないと、レーザ再照射時に熱伝導により粉末が造形物に付着し滑らかな表面が得られないという問題がある。また、焼結工程において十分な密度の焼結体を形成しておかないと、段差を除去しても除去後の表面に気孔が現れて滑らかな表面が得られない。本發

明が解決しようとする課題は、造形物の表面を滑らかに、かつ、高密度化することで、造形物の品質性能を向上させることである。

##### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明にかかる三次元形状造形物の製造方法は、無機質あるいは有機質からなる粉末の層の所定個所に光ビームを照射して焼結させることによって焼結層を形成し、この焼結層の上に前記粉末の層を被覆するとともにこの粉末の所定個所に光ビームを照射して焼結させることによって下の焼結層と一緒にになった焼結層を形成し、これを繰り返すことによって複数の焼結層が積層一体化された粉末焼結部品を作製する方法において、粉末焼結部品の作製中に、既に焼結された造形物と、造形物と焼結されなかった粉末とを分離もしくは除去する工程(a)と、光ビームを再照射し、造形物周囲に付着した粉末部分を溶融固化させる工程(b)とを含む。

【0006】【その他の発明】前記方法において、精度の必要な部分のみ選択的に前記工程(a)および工程(b)を行なうことができる。前記方法において、異なる材料を複数層にわたり積層焼結し、前記工程(a)および工程(b)を複数の焼結層毎に行なうことができる。前記方法において、少なくとも再溶融させる深さ以上の粉末を除去することができる。前記方法において、造形物を作製する光ビーム照射ラインと造形物の硬化端との間に、工程(b)における光ビームを再照射することができる。

【0007】前記方法において、前記焼結層の積層端面に対して斜めに照射することができる。前記方法において、前記工程(b)における光ビームの照射角度を、造形物モデルデータに基づいて制御することができる。前記方法において、前記工程(a)のあと、造形物を粉末の層から取り出し、前記工程(b)を、造形物を構成する焼結層の端面に対して略水平方向から光ビームを再照射することができる。前記方法において、前記工程(b)を、加圧した雰囲気で行なうことができる。

【0008】前記方法において、前記工程(b)を、不活性ガス雰囲気で行なうことができる。前記方法において、前記工程(b)を、還元ガス雰囲気で行なうことができる。前記方法において、前記工程(b)を、複数の光ビームを用い、第1の光ビームで造形物の表面温度を上昇させ、第2の光ビームで造形物の周囲に付着した粉末を溶融させることができる。前記方法において、前記工程(b)で光ビームの再照射が終了したあと、粉末が分離もしくは除去された部分に、粉末を戻すことができる。前記方法において、造形物を作製する粉末よりも高い融点を有する粉末を戻すことができる。

【0009】前記方法において、光ビームを照射して造形物を作製する際に、造形物の表層部に、密度が約100%となるような条件で光ビームを照射して高密度層を形成しておくことができる。前記方法において、前記工

程(a)と工程(b)の間、または、工程(b)と同時に、造形物の表面に表面改質処理を行うことができる。前記方法において、前記表面改質処理が、造形物の表面に粉末を吹きつけながら、前記工程(b)を行うことができる。前記方法において、前記表面改質処理が、造形物の表面にガスを吹きつけながら、前記工程(b)を行うことができる。

【0010】本発明にかかる三次元形状造形物の製造装置は、前記三次元形状造形物の製造方法を実施する装置であって、造形物の周囲に光ビームを再照射する光ビーム再照射装置と、再照射する光ビームの照射方向を変える偏向装置と、粉末を収容する造形部を駆動するテーブル駆動機構と、造形部に粉末を供給する粉末供給機構と、焼結されなかった粉末を除去する粉末除去機構とを有する。前記装置において、前記粉末除去機構が前記粉末供給機構に取り付けられていることができる。前記装置において、前記粉末除去機構が、XY駆動機構を有し、造形物の断面輪郭形状に沿ってNC駆動が可能であることができる。

【0011】前記装置において、前記テーブル駆動機構に加振装置を備えることができる。前記装置において、前記光ビーム再照射装置が、光ファイバーを経て光ビームが供給され首振り自在な照射ヘッドと、照射ヘッドを搭載するXY駆動機構とを有することができる。前記装置において、前記光ビーム再照射装置が光ファイバーを経て光ビームが供給される照射ヘッドを有するとともに、前記粉末除去機構と照射ヘッドとが同軸または隣接して設置されたXY駆動機構を有することができる。前記装置において、前記造形部に供給する粉末を収容する粉末供給部と、焼結されず除去された粉末を粉末供給部に戻す粉末戻し機構を有することができる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】〔製造装置〕図1および図2は、本発明の実施形態となる三次元形状造形物の製造装置を示している。製造装置には、造形に用いる粉末材料Pが収容されたタンク状の供給部20と、供給部20に隣接して造形物の作製を行い、供給部20と同様のタンク状をなす造形部10とを備えている。供給部20および造形部10は同じ平面形状をなしている。

【0013】造形部10の底面を構成する造形台12は昇降自在である。供給部20の底面22も昇降自在である。造形台12の上に粉末材料Pを光硬化させてなる硬化層mが順次積み重ねられて造形物Mが作製される。移送ブレード30は、造形部10および供給部20の内幅よりも長い細幅の板状をなし、両端が往復動装置32に支持されている。移送ブレード30は、供給部20の外側から供給部20および造形部10の上方を通過して造形部10の外側まで水平移動する。造形部10の上方には、レーザ光などの光ビームLを照射する光ビーム照射装置40が配置されている。光ビーム照射装置40は、

光ビームの照射器42から照射された光ビームLを、複数の可動鏡43、44やレンズを組み合わせた光学系で偏向させたり集束させたりして、造形部10の中の粉末材料Pに照射する。可動鏡43、44などの光偏向装置は、図示しないコンピュータなどで制御されて光ビームLの照射位置や焦点位置などを変える。

【0014】造形部10の上方には、粉末除去ノズル50が配置される。粉末除去ノズル50は、可撓性のあるホース53を経て、粉末分離装置55および吸引ポンプ56に接続されている。吸引ポンプ56を作動させれば、粉末除去ノズル50の先端から空気とともに粉末Pを吸い込む。粉末分離装置55で、空気と粉末Pとを分離し、粉末Pは粉末分離装置55に備えた補助タンク(図示せず)に貯めておいたり、粉末分離装置55の下端から供給部20に戻したりする。粉末Pが分離された空気は吸引ポンプ56から外部に放出される。粉末除去ノズル50は、支持バー52に摺動自在に取り付けられている。支持バー52は、造形部10および供給部20の両外側に沿って配置された案内駆動部54に支持されており、案内駆動部54に沿って摺動する。その結果、粉末除去ノズル50は、造形部10の上でXY両方向に自由に移動することができる。

【0015】図2に示すように、製造装置の全体が、密閉空間を構成する加工室60に収容されている。但し、光ビーム照射装置40の大部分は加工室60の外部に設置されていて、光ビームLは、加工室60の壁面に設けられたレンズ45を通して加工室60の内部へと照射される。加工室60の壁面には吸排気口62を介して配管64およびバルブ63が接続されており、加工室60に圧力空気を送り込んだり、排気吸引したり、所望のガス雰囲気を作りだしたりすることができるようになっている。

〔製造装置の具体的構成〕造形物の製造装置として、以下の構成を備えたものが使用できる。

【0016】光ビーム照射装置：CO<sub>2</sub>レーザ発振装置  
光ビーム偏向装置：ガルバノメーター式スキャナ  
テーブル駆動機構：造形部10および供給部20の造形台12および底面22の昇降を行う。サーボモータで回転駆動されるボールねじや、ボールねじの摺動体の昇降動作を案内する直動ガイドレール、ボールねじの摺動体に支持された平板(テーブル)およびテーブルを囲むシリンドなど構成される。

粉末供給機構：サーボモータ、ボールねじ、ガイドレールにスキージングを行う移送ブレード30を設置しておく。

【0017】粉末除去機構：XY駆動テーブルに、粉末除去ノズル50を備えておく。XY駆動テーブルは、タイミングベルトやボールねじなどの機構を組み合わせて駆動することができる。XY駆動テーブルの動作は、造形作業全体を制御するコンピュータの指令によって各軸

位置や動作速度などが制御され、造形物の断面形状に沿って正確に移動させることができる。X Y駆動テーブルの作動に直動リニアモータを用いれば高速動作が可能になる。粉末除去ノズル50を吸引駆動する吸引ポンプ56には、掃除機用の吸引ポンプを利用することができます。掃除機に備えたゴミと空気の分離機構を利用すれば、粉末Pの分離が可能である。

【0018】[基本的製造工程]図3は、基本的な製造工程を(a)～(d)へと段階的に示している。図3(a)に示すように、造形部10の造形台12の上で造形物Mを作製する。作製途中の造形物Mは、複数の焼結層mが積み重ねられており、造形物Mの外側面には、後述する再溶融固化層Sが形成されている。造形物Mの周囲は粉末Pで埋められている。図示しないが、供給部20において、底面22を少し持ち上げることで、供給部20の上面よりも上昇した部分の粉末Pを、移送ブレード30で押し動かして、造形部10の上方に供給する。このとき、造形部10では、作製途中の造形物Mの上面を造形部10の上面よりも少し低い状態まで下げておき、造形物Mの上に所定の厚みで粉末Pの層が形成されるようとする。

【0019】図3(b)に示すように、造形部10の上方に造形物作製用の光ビームL0を照射する。光ビームL0が照射された部分の粉末Pは焼結して焼結層mを形成する。焼結層mは先に形成されている下層の焼結層mと融着一体化して造形物Mの一部を構成することになる。なお、この段階では、最上層の焼結層mの側端には再溶融固化層Sは形成されていない。図3(a)と図3(b)の工程を順次繰り返することで、複数層の焼結層mが積み重ねられた造形物Mを作製することができる。図3(c)に示すように、1段の焼結層mが作製されたあと、あるいは、複数段の焼結層mが作製されたあとで、造形物Mの周囲で、造形物Mの側端面と周囲の焼結されなかった粉末Pとを分離し、造形物Mの側端面を露出させる。

【0020】具体的には、粉末除去ノズル50で、造形物Mの周囲の粉末Pを吸引除去する。造形部10内の粉末Pを全て除去することもできるが、通常は、造形物Mのうち、再溶融固化層Sが形成されていない焼結層mの側端面が完全に露出する深さまで、粉末Pを除去して、造形物Mの外周に沿って空孔hを形成する。粉末除去ノズル50をX Y方向に移動制御することで、任意の形状の造形物Mに対して周囲に空孔hを形成することができる。空孔hの幅は、造形物Mの外周端面から十分に離れたところに空孔hの反対側の内壁が配置されるようにしておく。造形物Mの周りに堆積された粉末Pの層が一部崩れたり変形したりしても空孔hが埋まってしまわないようにしておくことが好ましい。後述する光ビームL1の照射時に、光ビームL1が付着粉末P以外の粉末Pを溶融固化させないようにしておく。

【0021】粉末除去ノズル50で除去された粉末P

は、供給部20に戻されて再利用される。なお、造形物Mの側端面と粉末Pとを分離する手段としては、粉末除去ノズル50のほかにも、後述する加振装置などが使用できる。図3(d)に示すように、露出された造形物Mの側端面に、再溶融固化のための光ビームL1を照射することで、造形物Mの側端面に再溶融固化層Sが形成される。再溶融固化層Sが形成されたあとは、空孔hは粉末Pで埋め戻し、再び図3(a)の工程から繰り返して、焼結層mの作製と積層を行う。

【0022】上記方法において、粉末Pとしては、例えば、平均粒径約20μmの鉄粉が使用できる。粉末Pは略球形のものが望ましい。光ビームとして、例えば、炭酸ガスレーザが使用できる。1層の焼結層mの厚みは、例えば0.05mmに設定できる。空孔hの深さとして、例えば、焼結層mの積層ピッチが0.1mmで、3層毎に再溶融固化層Sをまとめて形成する場合には、空孔hの深さを0.3mm以上に設定しておけばよい。

【再溶融固化層の形成】図4は、再溶融固化層Sの形成状態を詳しく示している。

【0023】図4(a)に示すように、光ビームL0を照射し粉末Pを焼結させて得られた焼結層mを複数層積み重ねて構成された造形物Mは、外周側端に、未硬化あるいは半硬化状態の粉末P0、あるいは、粒状のまま焼結した状態の粉末P0が付着した状態になる。粉末除去ノズル50で焼結されなかった粉末Pを吸引除去したとしても、一部の粉末P0は造形物Mの外周に付着したままになる。なお、図では、焼結層mの断面形状を、光ビームL0の焦点形状に対応する楕円断面がつながった状態で模式的に表しているが、実際には、楕円断面が並んだ包絡形状の層状をなすものである。

【0024】前記したように、造形物Mの外周面に粉末P0が付着した状態では、当然、造形物Mの表面は付着粉末P0に対応する凹凸が存在していて、滑らかな表面にはなっていない。また、粉末P0の間に存在する空隙によって、ポーラスな状態になっており、緻密な焼結状態にはなっていない。表面を滑らかにするためには、樹脂や金属を含浸せたり、表面にヤスリやサンドペーパーなどで仕上げ加工を施す必要がある。表面に仕上げ加工を行っても、付着した粉末P0を完全に削り取らない限り、表面を滑らかにすることは困難である。図4(b)に示すように、造形物Mの外周端近くに光ビームL1を照射することにより、造形物Mに付着した粉末P0が溶融され、造形物Mの端面に存在する凹凸の空隙部分に流れ込んで固化する。これによって、造形物Mの外周面には、緻密で滑らかな焼結材料からなり、造形物Mと一緒に結合された再溶融固化層Sが形成される。

【0025】したがって、前記した樹脂や金属の含浸、あるいは表面仕上げ加工を行わなくても、滑らかで緻密な表面を現出させることができる。再溶融固化層Sは、粉末P0の間に存在する空隙がなくなり、粉末Pの材料

が一様で均一な焼結層を形成するので、材料の密度が高くなり、機械的強度などの特性や表面性状も良好になる。

【再溶融固化光ビーム】再溶融固化させるための光ビーム $L_1$ は、造形物Mの外面に付着した粉末 $P_0$ を溶融させることができればよいので、造形物Mの本体部分を焼結させる際の光ビーム $L_0$ に比べてビーム径は細くてもよい。勿論、光ビーム $L_1$ を光ビーム $L_0$ と同じビーム径で照射することもできる。

【0026】再溶融固化光ビーム $L_1$ の照射範囲としては、造形物Mに付着した粉末 $P_0$ を確実に溶融させるためには、造形物Mの外周端よりも内側から外側までの広い範囲を覆っているのが好ましい。しかし、光ビーム $L_1$ が、前記図3(d)の空孔 $h$ の底まで届くと、造形物Mの外周に接触する部分に埋められた粉末 $P$ までが溶融固化してしまう。それでは、造形物Mの外形状が変わってしまったり、先に形成された再溶融固化層Sの外側に新たに粉末Pが付着してしまって、表面粗度や密度が低下し、寸法精度も悪くなる。そこで、光ビーム $L_1$ の外周端が、造形物Mの外周端と同じ位置に配置されるか、それよりも少し内側に配置されるように、光ビーム $L_1$ の照射位置を決めるのが好ましい。より具体的には、光ビーム $L_1$ の中心線が、造形物Mを作製する際の光ビーム $L_0$ の照射経路の中心線よりも外側になり、かつ、光ビーム $L_1$ のビーム径の外周端が、造形物Mを作製する際の光ビーム $L_0$ のビーム径の外周端よりも内側に配置されるように、光ビーム $L_1$ のビーム径および照射位置を設定するのが好ましい。

【0027】なお、造形物Mの外面に付着した粉末 $P_0$ のほかには周間に粉末Pが存在していなければ、造形物Mの外周端からはみ出るように光ビーム $L_1$ を照射しても前記のような問題は起こらない。この場合、光ビーム $L_1$ のうち、最もエネルギーが強いビーム径の中心部分を造形物Mに付着した粉末 $P_0$ の中心に当てるようすれば、再溶融固化の効率を高めたり、緻密で滑らかな再溶融固化層Sを形成したりするのに有効である。

【再溶融固化層の配置】前記した再溶融固化層Sは、造形物Mの任意の表面に形成することができる。前記実施形態では、造形物Mの外周の垂直な側面だけに再溶融固化層Sを形成していたが、造形物Mの上面あるいは傾斜した側面にも再溶融固化層Sを形成することができる。造形物Mの姿勢を変えたり、光ビーム $L_1$ の照射方向を変えれば、造形物Mの下面や凹凸の内部にも再溶融固化層Sを形成することができる。

【0028】但し、造形物Mのうち、表面の滑らかさや緻密さをそれほど要求されない個所については、再溶融固化層Sの形成を行わないでおくことができる。図5に示す実施形態は、造形物Mとして金型を作製した場合を示す。金型造形物Mは、パーティング面Xを境界にして、上部には金型で作製する製品の形状を表す製品形状

部 $M_0$ が配置され、下部にはモールドベースに挿入されるポケット部 $M_1$ が配置される。ポケット部 $M_1$ は、寸法精度は要求されるが、表面密度や精度はそれほど要求されない。そこで、造形物Mのうち、ポケット部 $M_1$ の作製段階では焼結層mの積み重ねだけを行って再溶融固化層Sの形成工程を行わざにおく。製品形状部 $M_0$ の作製段階に入って初めて造形物Mの外周面に再溶融固化層Sを形成する。

【0029】このようにして、必要な個所のみに選択的に再溶融固化層Sを形成すれば、再溶融固化層Sが不要な個所では、粉末分離・除去工程や光ビーム再照射工程を省略することで、造形物Mの製造工程全体の工数を削減し、造形時間を短縮することができる。上記のような、再溶融固化層Sの選択的な形成を行うには、例えば、造形物Mの高さ方向において、所定の高さまでは再溶融固化層Sを形成せず、所定の高さを超えると再溶融固化層Sの形成を行えば、非常に簡単な制御操作で、再溶融固化層Sを選択的に形成することができる。

【0030】また、造形物Mの三次元形状データの処理段階で、製品形状部 $M_0$ とポケット部 $M_1$ の形状データを分割し、個々のモデルについて、一方(製品形状部 $M_0$ )には光ビーム再照射の操作条件や命令を設定し、他方(ポケット部 $M_1$ )には光ビーム再照射の操作条件や命令を設定しないでおき、処理命令や条件が設定されたあとの各モデルを、元の三次元形状データを再構成するように組み合わせればよい。

【粉末材料の組み合わせ】前記図4において、再溶融固化用の光ビーム $L_1$ を真上から照射した場合、多くのエネルギーは最上層の付着粉末 $P_0$ に吸収されてしまい、その下の層の付着粉末 $P_0$ にはエネルギーが到達し難い。

【0031】焼結層mを複数層作製してから、まとめて再溶融固化層Sの形成を行ったほうが作業能率は良く造形時間は短縮できるが、前記した下方の層には光ビーム $L_1$ のエネルギーが届きにくいという問題があるため、下層の再溶融固化層Sは、表面の滑らかさや緻密性の点で劣ることになる。造形物Mの外表面に、滑らかさや密度の違い部分が生じてしまう。そこで、図6に示す実施形態では、1工程でまとめて形成される再溶融固化層Sに対応する焼結層 $m_1$ 、 $m_2$ を形成する粉末 $P_1$ 、 $P_2$ の材料について、融点の違うものを組み合わせている。

【0032】上側に配置される粉末 $P_1$ には、比較的融点が高い粉末材料を用い、下側に配置される粉末 $P_2$ には、比較的融点が低い粉末材料を用いる。具体的には、上側の粉末 $P_2$ として鉄粉を用い、下側に配置される粉末 $P_2$ に銅粉を用いることができる。このような組み合わせの粉末 $P_1$ 、 $P_2$ を用いて、焼結層 $m_1$ 、 $m_2$ の外周側面に同時に再溶融固化層Sを形成すると、光ビーム $L_1$ のエネルギーは、焼結層 $m_1$ の融点が高い付着粉末 $P_0$ に強く作用し、焼結層 $m_2$ の融点が低い付着粉末 $P$

**02**には弱く作用する。その結果、付着粉末P<sub>01</sub>、付着粉末P<sub>02</sub>の何れに対しても、ほぼ同じような再溶融固化状態が得られる。具体的には、表面の滑らかさや密度が同じ程度になる。

**【0033】**このような造形物Mの各層を構成する粉末Pの材料の変更や組み合わせは、再溶融固化層Sの品質や仕上がりを向上させるために行われるだけでなく、造形物Mの熱伝導率、電気伝導率、硬度などの物性を制御したり、部分的に違えたりするためにも利用することができる。

**【再照射光ビームの照射方向】**前記した実施形態では、造形物Mの真上から垂直方向に再照射光ビームL<sub>1</sub>を照射していたが、再溶融固化層Sの形成に適した方向に光ビームL<sub>1</sub>の照射方向を変えることもできる。

**【0034】**図7に示す実施形態では、造形物Mの垂直な外周側面に対して、斜め方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射して付着粉末P<sub>0</sub>の再溶融固化を行う。前記したように、光ビームL<sub>1</sub>を真上から照射した場合には、上層の焼結層mに付着した粉末P<sub>0</sub>と下層焼結層mに付着した粉末P<sub>0</sub>とで、供給される光エネルギーに大きな差が生じて、再溶融固化層Sの品質性能に違いが生じ易くなる。しかし、斜め方向の光ビームL<sub>1</sub>であれば、上下何れの層に対しても、大きなエネルギー差を生じることがなく、ほぼ同じ条件で光ビームL<sub>1</sub>を当てることができる。その結果、複数層の焼結層mに対して一度でまとめて再溶融固化層Sの形成工程を実施しても、品質性能に悪影響を及ぼすことが少ない。造形物Mの品質性能を損なうことなく、造形物Mの製造工程全体の能率向上が達成できる。

**【0035】**図8に示す実施形態では、造形物Mとして、外周側面が傾斜面を有するものを作製している。造形物Mの傾斜面に、再照射光ビームL<sub>1</sub>を照射する場合、傾斜面に対して鉛直方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射すれば、付着粉末P<sub>0</sub>に対して効率で品質性能にも優れた再溶融固化が行える。光ビームL<sub>1</sub>は、光ビームL<sub>1</sub>の中心軸方向に対して直交する面で最も高いビームエネルギーが得られる。造形物Mの表面に対して、その表面の鉛直方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射するのが、最も効率の良い方法である。高いエネルギーが照射されるほど、付着粉末P<sub>0</sub>の再溶融固化が良好に行われ、滑らかで密度の高い表面が得られる。

**【0036】**したがって、造形物Mの外周表面の面データをもとにして、光ビームL<sub>1</sub>の照射方向を制御し、光ビームL<sub>1</sub>が造形物Mの表面に対して常に鉛直方向から照射されるようにすれば、造形物Mの全面に対して効率良く、品質性能に優れた再溶融固化層Sを形成することができる。なお、造形物Mの形状や光ビームL<sub>1</sub>の制御構造によって、造形物Mの全表面に対して鉛直方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射することができない場合にも、出来るだけ鉛直方向に近い角度で光ビームL<sub>1</sub>を照射するよ

うにすることで、造形物Mの表面の滑らかさや密度を向上させることができる。

**【0037】**【造形物の上昇】この実施形態は、造形物Mと周囲の粉末Pとを分離して造形物Mの外表面を露出させる作業を、造形物Mの上昇動作によって行う。図9(a)に示すように、造形部10に収容された粉末Pに光ビームL<sub>0</sub>を照射して焼結層mを形成し、焼結層mを積み重ねて造形物Mを作製するのは、前記実施形態と同様である。図9(b)に示すように、造形物Mが作製されたあと、造形台12を上昇させて、造形物Mを造形部10の上方に配置する。造形物Mの周囲に存在していた粉末Pは、自然に崩れて造形物Mの周囲から除かれるか、粉末除去ノズル50で吸引除去するか、ブレードなどで押し退けるかすれことで、造形物Mの外周側面が露出する。

**【0038】**造形物Mの露出した外周側面に、水平方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射して、再溶融固化層Sを形成する。この場合、造形物Mの垂直側面に対して鉛直方向から光ビームL<sub>1</sub>が照射されるので、エネルギー効率が高く、品質性能の良い再溶融固化層Sを効率的に形成することができる。図9(b)では、造形物Mの全体を造形部10の上部まで上昇させているが、造形物Mのうち再溶融固化層Sを形成する必要のある部分だけが、造形部10の上部に配置されるだけであっても構わない。また、再溶融固化層Sを形成しない部分については、造形物10が粉体Pで覆われたままであっても良い。

**【0039】**再照射用の光ビームL<sub>1</sub>は、焼結層mを形成するために真上から照射する光ビームL<sub>0</sub>を、光学系などを作動させて、照射方向を垂直方向から水平方向に偏向させることで両方に兼用することもできるし、焼結層mの形成用の光ビームL<sub>0</sub>とは別の照射装置あるいは光学系を用いて水平方向からの光ビームL<sub>1</sub>を照射するようにしてもよい。また、水平方向に照射される光ビームL<sub>1</sub>で、造形物Mの全周に再溶融固化層Sを形成するには、造形物Mの周囲で光ビームL<sub>1</sub>の照射機構が旋回運動を行うようにしてもよいし、光ビームL<sub>1</sub>の照射方向は変えずに造形物Mのほうを水平旋回させることで全周に光ビームL<sub>1</sub>が当たるようにしてよい。

**【0040】**【加工室の雰囲気制御】図2に示す実施形態において、加工室60を加圧雰囲気にすることができる。再溶融固化工程で、光ビームL<sub>1</sub>によって付着粉末Pが再溶融固化する際に、加圧雰囲氣であると、再溶融した粉末材料同士および粉末材料と焼結層mとが密着し易くなる。その結果、再溶融固化層Sが緻密になり、強度が向上したり表面粗度が小さくなったり寸法精度が向上したりする。加工室60を不活性ガス雰囲氣にしておくことができる。不活性ガス雰囲氣では、造形物Mの酸化が抑制され、再溶融した付着粉末Pおよび焼結層mが密着して強固に接合され易くなる。このような効果が期待できる不活性ガスの具体例としては、窒素、アルゴン

が挙げられる。

【0041】加工室60の全体を不活性ガス雰囲気にする代わりに、造形物Mの外表面で再溶融固化用の光ビームL<sub>1</sub>が照射される個所に、ガス噴射ノズルを配置して、不活性ガスを吹きつけながら光ビームL<sub>1</sub>の照射を行うこともできる。光ビームL<sub>1</sub>の照射ヘッドに不活性ガスの噴射ノズルを一体的に組み込んでおくこともできる。加工室60を還元ガス雰囲気にしておくこともできる。例えば水素などの還元ガス雰囲気で光ビームL<sub>1</sub>を付着粉末P<sub>0</sub>に照射すると、付着粉末P<sub>0</sub>の溶融固化すなわち焼結時に生成される酸化物が還元ガスによって還元されるので、再溶融した粉末材料が密着し易くなるのである。

【0042】還元ガスについても、加工室60の全体ではなく、光ビームL<sub>1</sub>の照射個所だけに噴射ノズルなどで吹きつけることができる。

【複数の光ビーム】図10に示す実施形態は、再溶融固化層Sを形成するための光ビームを、光ビームL<sub>11</sub>と光ビームL<sub>12</sub>の2種類を用いる。第1の光ビームL<sub>11</sub>は、造形物Mのうち再溶融固化層Sを形成する個所の表面温度を上昇させる。第2の光ビームL<sub>12</sub>は、造形物Mに付着した粉末P<sub>0</sub>を溶融させる。

【0043】第1の光ビームL<sub>11</sub>の照射機構は、前記図1に示した焼結層mを形成する光ビームL<sub>0</sub>の照射機構を利用することができます。具体的には、反射鏡44などの光学系を用いて、造形物Mの上方から光ビームL<sub>11</sub>を照射する。第2の光ビームL<sub>12</sub>は、照射ヘッド140から照射される。照射ヘッド140は、XY駆動テーブル144に取り付けられている。XY駆動テーブル144は、造形部10に対して、照射ヘッド140を水平方向でXY両方向に自在に移動させる。照射ヘッド140には、可搬性のある光ファイバケーブル142を介して光ビームL<sub>11</sub>が供給される。

【0044】前記した図1に示す照射器42から照射された光ビームLを分岐させて、その一部を光ビームL<sub>11</sub>として照射し、別の一部を光ビームL<sub>12</sub>として照射することができる。光ビームLの分岐には、光ファイバやレンズ、反射鏡などの光学系を組み合わせて行えばよい。上記実施形態では、第1の光ビームL<sub>11</sub>で造形物Mの外周部分を昇温させた状態で、第2の光ビームL<sub>12</sub>で溶融させた付着粉末P<sub>0</sub>を一体的に溶融固化させるので、付着粉末P<sub>0</sub>と造形物Mとが短時間で効率的に強固かつ均一に一体化する。その結果、再溶融固化層Sの表面粗度が向上し、再溶融固化工程に要する作業時間を短縮することができる。

【0045】〔除去粉末の再充填〕図11に示す実施形態は、粉末除去ノズル50で除去した粉末Pを、造形部10に再充填する。造形物Mの外周で、粉末除去ノズル50を用いて粉末Pを除去し、空孔hを形成して、造形物Mの外周端面を露出させるのは、前記した実施形態と

同様である。空孔hに露出した造形物Mの外周端面に光ビームL<sub>1</sub>を照射して、再溶融固化層Sを形成する工程も、前記実施形態と同じである。

【0046】この実施形態では、粉末除去ノズル50とは別に、粉末充填ノズル58を備えている。粉末充填ノズル58には、ホース59やポンプ(図示せず)などを介して、粉末除去ノズル50のホース53が接続されている。粉末除去ノズル50で吸引除去された粉末Pが、粉末充填ノズル58へと送り込まれるようになっている。また、粉末充填ノズル58についても、XY駆動機構などに取り付けられていて、水平面内で自由に移動できるようになっている。粉末充填ノズル58は、再溶融固化層Sの形成が終了した個所の空孔hの上方に配置されて、空孔hを埋めるように粉末Pを充填する。

【0047】粉末充填ノズル58としては、各種の粉末充填機構を利用することができる。例えば、インクジェット装置の原理を用いてインクの代わりに粉末Pを噴出させる機構が利用できる。この実施形態では、粉末除去ノズル50による粉末Pの除去、光ビームL<sub>1</sub>の照射による再溶融固化層Sの形成、および、粉末充填ノズル58による粉末Pの埋め戻しが、作業性良く効率的に行われる所以、作業時間の短縮化が図れる。除去された粉末Pを再利用することで、材料の利用効率も高まる。

〔高融点材料の埋め戻し〕造形物Mの周囲で空孔hに露出した端面に再溶融固化層Sを形成したあと、空孔hを粉末Pで埋め戻して、さらに造形物Mの上に新たな粉末Pの層を供給し焼結層mを形成すると、焼結層mを形成するための光ビームL<sub>0</sub>の照射によって、下層の焼結層mの外周部分に粉末Pが付着する現象が生じることがある。

【0048】下層の焼結層mには既に再溶融固化層Sが形成されており、その外側に新たな粉末Pが付着してしまうと、表面の滑らかさは失われてしまう。この問題を解消するために、再溶融固化層Sの形成後に空孔hに埋め戻す粉末Pとして、造形物Mを作製するための粉末Pよりも融点の高い粉末を埋め戻すことが有効である。図12(a)に示すように、造形物Mの周囲の粉末Pに空孔hを形成し、空孔hに露出する造形物Mの外側面に付着した付着粉末P<sub>0</sub>に光ビームL<sub>1</sub>を照射して再溶融固化層Sを形成するのは、前記した実施形態と同じである。

【0049】その後、図12(b)に示すように、空孔hに、粉末Pとは別の材料からなる高融点粉末P<sub>3</sub>を埋め戻す。高融点粉末P<sub>3</sub>は、焼結層mを形成する粉末Pよりも融点が高く、焼結層mを形成する光ビームL<sub>0</sub>の照射によっては溶融しない材料を選択して使用する。具体的には、鉄やセラミックが挙げられる。空孔hが高融点粉末P<sub>3</sub>で埋め戻されたあと、通常の焼結層mの形成工程と同様に、造形物Mの上面には新たな粉末Pの層が形成される。この粉末Pの層に、光ビームL<sub>1</sub>が照射されて、新たな焼結層mが形成される。焼結層mが形成さ

15

れる際には、光ビーム  $L_0$  のエネルギーの一部が、先に形成された下層の焼結層  $m$  やその周辺の高融点粉末  $P_3$  に加わるが、高融点粉末  $P_3$  は光ビーム  $L_0$  の照射によって溶融したり焼結層  $m$  に付着したりすることはない。

【0050】上記実施形態では、造形物Mの外周面に形成された再溶融固化層 S の滑らかで緻密な表面が、その後の焼結層  $m$  の形成工程において損なわれることなく、造形物Mの表面を滑らかで緻密な状態に維持することができる。

【高密度層の形成】造形物Mは、全体と同じ条件で焼結された一様な特性のものであってもよいし、部分的に光ビーム  $L_0$  の照射条件を変えたりすることで特性の異なる部分が組み合わせられていてもよい。造形物Mの外周面には再溶融固化層 S が形成されるが、この再溶融固化層 S は造形物Mの表面に付着した粉末  $P_0$  の厚み程度しかなく、かなり薄いものである。そのため、製造された造形物Mの表面にさらに仕上げ加工を行ったり、造形物Mを各種機器の部品として長期間使用している間の摩耗等で、再溶融固化層 S が削られて、造形物Mの表面がボーラスな状態になってしまうことがある。再溶融固化層 S が薄いと、造形物Mの表面強度が弱いという問題もある。

【0051】このような問題を解消するため、図13に示すように、造形物Mの各焼結層  $m$  を光ビーム  $L_0$  によって形成する際に、造形物Mの表面に配置される部分と内部に配置される部分とで、光ビーム  $L_0$  の照射条件を変え、表層部  $M_4$  と中央部  $M_3$  とで構成される造形物Mを作製する。具体的には、造形物Mの形状モデルデータを、表層部  $M_4$  と中央部  $M_3$  に対応して分割しておく。焼結層  $m$  を形成する際には、中央部  $M_3$  では通常の比較的ボーラスな状態で焼結するように光ビーム  $L_0$  の照射条件を設定する。表層部  $M_4$  では、粉末  $P$  が十分に溶融して高密度状態（好ましくは100%の密度）で焼結するように光ビーム  $L_0$  の照射条件を設定する。光ビーム  $L_0$  の強度や照射時間など変更すればよい。

【0052】その結果、形成される焼結層  $m$  のうち、造形物Mの表層になる部分に高密度で強度的に優れた表層部  $M_4$  が配置されることになる。但し、粉末  $P$  の層内で焼結層  $m$  を形成するので、焼結層  $m$  と焼結させない粉末  $P$ との境界部分では、熱伝導などによって、粉末  $P$  の一部が溶融して焼結層  $m$  の端面に付着することが起こり、表面の滑らかさや緻密性が損なわれる問題は生じる。そこで、上記のような中央部  $M_3$  と表層部  $M_4$  とで構成される焼結層  $m$  あるいは造形物Mを作製したあと、前記した実施形態と同様に、造形物Mの外周面では、周囲の粉末  $P$  の分離や除去を行い、光ビーム  $L_1$  を照射して再溶融固化層 S を形成する。

【0053】最終的に製造された造形物Mは、比較的にボーラスな中央部  $M_3$  と、その表層部分を覆う高密度な表層部  $M_4$  と、表層部  $M_4$  のさらに外面を覆う再溶融固

16

化層 S とで構成されるものとなる。造形物Mのうち、高密度性や強度は溶融されるが表面の滑らかさはそれほど要求されない部分であれば、再溶融固化層 S を形成せずに表層部  $M_4$  が露出したままであっても構わない。前記した造形物Mの形状モデルデータの分割については、三次元CADソフトにほぼ標準的に備えられている「シェル化」機能とブーリアン演算機能を用いることで、比較的簡単に表層部  $M_4$  と中央部  $M_3$  との2つの部分に分割することができる。この2つの部分がぴったりとはまるようによく造形空間にモデル配置して、造形物Mの作製作業を行えば、2つの部分の照射条件を確実かつ容易に制御することができる。データ空間上に2つの部品を隣接して配置し、別々に造形するイメージで作業を行えば、結果的には表層部  $M_4$  と中央部  $M_3$  とが一体化された一つの造形物Mが出来上がる気になる。

【0054】表層部  $M_4$  の厚みは、造形物Mの寸法形状や要求性能に合わせて適宜に設定すればよいが、通常は、0.5～3mm程度の範囲に設定することができる。

【表層部と中央部からなる造形物の作製】図14は、前記した高密度な表層部  $M_4$  とボーラスな中央部  $M_3$  とを備えた造形物Mを作製する工程の具体例を段階的に示している。図14(a)に示すように、造形部10内で造形物Mの上面に移送プレート30を用いて粉末Pの層を供給する。図14(b)に示すように、新たな焼結層となる領域のうち、表層部  $M_4$  に対応する領域のみに光ビーム  $L_0$  を照射する。このときの照射条件は、高密度な焼結が行われるように設定されている。表層部  $M_4$  は焼結層となる領域の外周に沿って周粒状に配置される。

【0055】図14(c)に示すように、表層部  $M_4$  の周囲で、粉末除去ノズル50によって粉末Pを除去して空孔hを形成させる。この作業と同時に、表層部  $M_4$  の内側部分に光ビーム  $L_0$  を照射して中央部  $M_3$  を形成させる。このときの照射条件は、比較的にボーラスな焼結が行われるようにしておけばよい。図14(d)に示すように、空孔hに露出した表層部  $M_4$  の外周端部に、光ビーム  $L_1$  を照射して再溶融固化層 S を形成する。その後、空孔hを埋め戻し、図14(a)～図14(d)の工程を繰り返すことで、中央部  $M_3$  、表層部  $M_4$  および再溶融固化層 S で構成される造形物Mが作製される。

【0056】上記実施形態では、図14(c)の工程で、粉末Pの除去作業と、中央部  $M_3$  の焼結作業とを、表層部  $M_4$  で間が仕切られた状態で同時に実施することができるので、作業工程の削減あるいは作業時間の短縮化は図ることができる。

【表面改質】造形物Mの表面には、再溶融固化層 S の形成とともに表面改質処理を施すことができる。再溶融固化層 S を形成するためには、造形物Mの外周表面を露出させて、この段階で各種の表面改質処理を施せば、能率的な作業が行える。

【0057】図15に示す実施形態では、造形物Mの外

17

周面に付着粉末P<sub>0</sub>に光ビームL<sub>1</sub>を照射して再溶融固化層Sを形成する際に、光ビームL<sub>1</sub>の照射箇所に、噴射ノズル70から表面改質材料を噴射して、表面改質材料と付着粉末P<sub>0</sub>とを反応させたり混合させたりして、表面改質を行う。噴射ノズル70には、供給ホース72を経て表面改質材料となる粉末や液体あるいはガスが供給される。表面改質材料の具体例としては、硬度向上を果たす炭素粉末、耐食性を向上させる亜鉛・アルミニウム合金粉末、耐食性、耐摩耗性、耐熱性などを向上させる自溶合金粉末などの粉末材料が使用できる。窒素ガスやアンモニアガスを吹きつけて、窒化物を生成させることで、表面硬度を向上させることもできる。

【0058】上記実施形態では、焼結層mを構成する粉末Pと実質的に同じ材料である付着粉末P<sub>0</sub>で形成される再溶融固化層Sでは、その特性を大きく変えることは難しいが、噴射ノズル70で表面改質材料を吹きつければ、再溶融固化層Sの特性を大きく変えることができ、造形物Mの使用目的や要求性能に合わせて造形物Mの表面特性を向上させることができくなる。また、表面改質処理作業と再溶融固化層Sの形成作業とが同時に見えるので、再溶融固化層Sを形成してから表面改質処理を行うのに比べて、作業工程が少なくなる。勿論、再溶融固化層Sの形成工程とは別の工程で、前記した表面改質処理工程を行うことも可能である。

【0059】〔粉末除去機構の変更構造〕図16に示す実施形態では、粉末供給機構と粉末除去機構とが一体化されていて同時に移動操作される。粉末供給機構として、移送ブレード30と移送ブレード30を支持する支持バー34とを備えている。前記図1に示すように、支持バー34は、両端を往復動装置32に装着されている、往復動作を行う。粉末除去機構となる粉末除去ノズル50は、支持バー34に取り付けられている。粉末除去ノズル50は支持バー34に沿って細長く伸びるシリット状をなしている。移送ブレード30と粉末除去ノズル50とが平行に並んでいる。粉末除去ノズル50の幅は、造形部10の内幅と同じ程度に設定されている。粉末除去ノズル50の上部には吸引ホース53が連結されている。

【0060】上記実施形態では、支持バー34を供給部20から造形部10の上方で往復動させることで、移送ブレード30によって粉末Pを供給部20から造形部10へと供給して一定の厚みの粉末Pの層を形成することができる。支持バー34を造形部10の上方で移動させながら粉末除去ノズル50を作動させると、粉末除去ノズル50の幅に対応する造形部10の全幅にわたって粉末Pを吸引除去することができる。造形物Mの外周面の形状に合わせて複雑な運動をさせなくても、造形物Mの外周面の全体を確実に露出させることができる。一つの往復動装置と32および支持バー34で、移送ブレード30だけでなく粉末除去ノズル50の支持および動作を

18

果たすことができるので、装置構造および制御の簡略化を図ることができる。

【0061】〔加振装置による粉末除去〕図17に示す実施形態では、前記実施形態における粉末除去ノズル50の代わりに加振装置を利用する。図17(a)に示すように、造形部10の造形台12の下面に、超音波振動子(圧電素子)などを用いて、周波数20～40kHz程度の超音波振動が発生できる加振装置14を備えておく。図17(b)に示すように、最上層の焼結層mが形成されたあとで、加振装置14によって振動を発生させる。造形部10の内部に収容された粉末Pに振動が加わると、粉末Pの密度が高くなり、粉末Pの嵩が小さくなる。粉末Pの上面が下がって、造形物Mの一部が粉末Pの表面から露出する。少なくとも、造形物Mのうち、再溶融固化層Sが形成されていない外周端面が露出すれば、加振装置14による振動の付加は終了させればよい。通常は、形成されたばかりで再溶融固化層Sが形成されていない最上層の焼結層mが露出すればよい。

【0062】露出した焼結層mの外周端面に、前記した実施形態と同様にして、光ビームL<sub>1</sub>を照射して再溶融固化層Sを形成すれば、造形物Mの外周面に再溶融固化層Sを形成して、表面を滑らかに高密度に仕上げることができる。加振装置の構造や加振条件は、造形部10の構造や造形物Mの作製条件などに合わせて変更することができる。

〔光ビームの首振り〕図18に示す実施形態は、再溶融固化用の光ビームL<sub>1</sub>を照射する照射ヘッド140に首振り機構を備えている。

【0063】照射ヘッド140には、Y方向駆動軸147に対してボールジョイント146を介して取り付けられ、水平面内および垂直面内で回転自在になっている。Y方向駆動軸147は、X方向駆動軸148に対して拘束自在に取り付けられている。X方向駆動軸148およびY方向駆動軸147で構成されるXY駆動機構、および、ボールジョイント146による首振り機構は、コンピュータによって制御される。上記実施形態では、造形物Mの外表面形状に合わせて、照射ヘッド140を造形物Mの任意の位置に任意の角度で斜め方向から光ビームL<sub>1</sub>を照射することが可能である。造形物Mの表面位置毎に最も適切な方向から効率的に光ビームL<sub>1</sub>を照射することができる。

【0064】〔粉末除去機構と照射ヘッドの結合〕図19に示す実施形態は、粉末除去ノズル50と、再溶融固化用の光ビームL<sub>1</sub>を照射する照射ヘッド140とを一体化させている。粉末除去ノズル50の中心を貫通して軸状の照射ヘッド140が取り付けられている。照射ヘッド140の後端は粉末除去ノズル50の外側で光ファイバケーブル142に接続されている。上記装置の使用は、焼結層mが形成されたあと、焼結層mの外周部分に、粉末除去ノズル50と照射ヘッド140とを配置す

る。粉末除去ノズル50を作動させて焼結層mの周辺の粉末Pを除去し、焼結層mの外周端面を露出させる。但し、焼結層mの外周に付着した粉末Poは粉末除去ノズル50による吸引だけでは除去されない。

【0065】照射ヘッド140からは光ビームL1が照射され、焼結層mの外周に付着した粉末Poに照射され、粉末Poを溶融させて再溶融固化層Sを形成する。上記実施形態では、焼結層mの周辺での粉末Pの除去と光ビームL1の照射による再溶融固化層Sの形成とが、同時あるいは連続的に行えるので、作業効率が良い。粉末除去ノズル50と照射ヘッド140とを、同じXY駆動機構などを利用して同時に同じ位置に移動させることができるので、移動装置が簡略化できるとともにコンピュータなどによる移動制御も容易になる。

#### 【0066】

【発明の効果】本発明にかかる三次元形状造形物の製造方法は、造形物の作製中に、既に焼結された造形物と、造形物と焼結されなかった粉末とを分離もしくは除去し、ここに光ビームを再照射して、造形物周間に付着した粉末部分を溶融固化させることによって、造形物の外周面における面粗度および表面密度を向上させることができる。その結果、表面が滑らかで緻密であり、外観および品質性能に優れた造形物を効率的に製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態となる製造装置の全体構造を示す斜視図

#### 【図2】 製造装置の全体構成図

【図3】 製造方法の基本的な工程を段階的に示す工程図

#### 【図4】 再溶融固化層の形成工程を詳しく示す断面図

#### 【図5】 別の実施形態となる造形物の断面図

#### 【図6】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面図

#### 【図7】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面図

#### 【図8】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面図

【図9】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面工程図

#### 【図10】 別の実施形態となる製造装置の要部構造断面図

#### 【図11】 別の実施形態となる製造装置の要部構造断面図

(11) 20  
【図11】 別の実施形態となる製造装置の要部構造断面図

【図12】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面工程図

【図13】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面図

【図14】 別の実施形態となる製造方法を段階的に示す工程図

10 【図15】 別の実施形態となる再溶融固化工程の断面図

【図16】 別の実施形態の断面図(a) および粉末除去装置の斜視図(b)

【図17】 別の実施形態の粉末除去方法を表す工程図

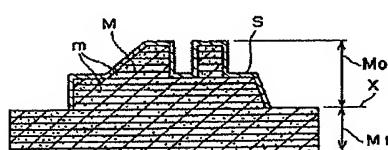
【図18】 別の実施形態の光ビーム照射機構を表す断面図

【図19】 別の実施形態の粉末除去／光ビーム照射機構を表す断面図

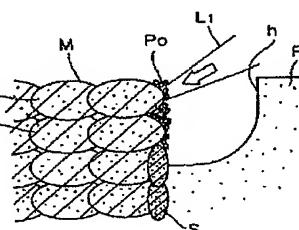
#### 【符号の説明】

20	10	造形部
	20	供給部
	30	移送ブレード
	40	光ビーム照射装置
	43、44	光ビーム偏向装置
	50	粉末除去ノズル
	55	粉末分離装置
	56	吸引ポンプ
	60	加工室
	140	再溶融固化用の光ビーム照射ヘッド
30	h	空孔
	L0	焼結層形成用の光ビーム
	L1	再溶融固化用の光ビーム
	M	造形物
	m	焼結層
	P	粉末
	Po	付着粉末
	S	再溶融固化層

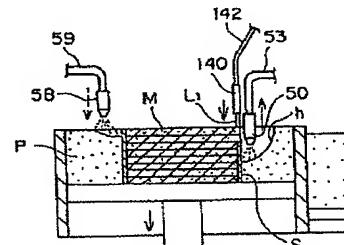
【図5】



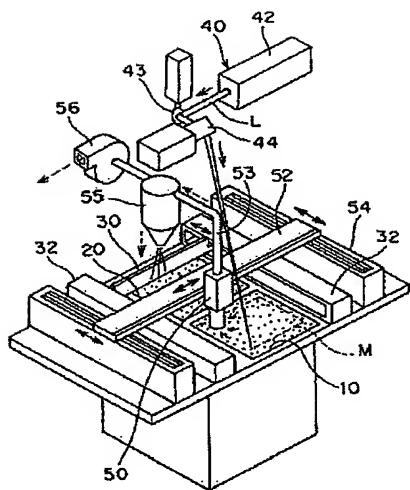
【図7】



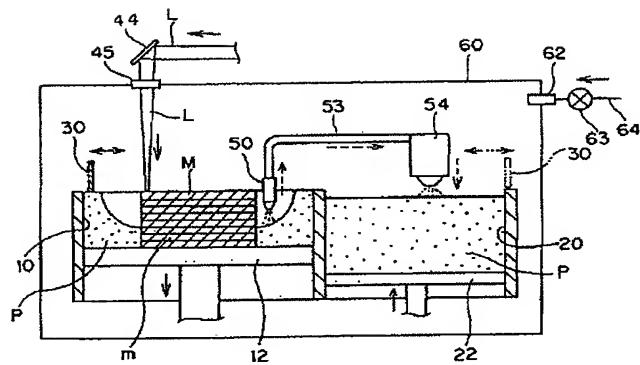
【図11】



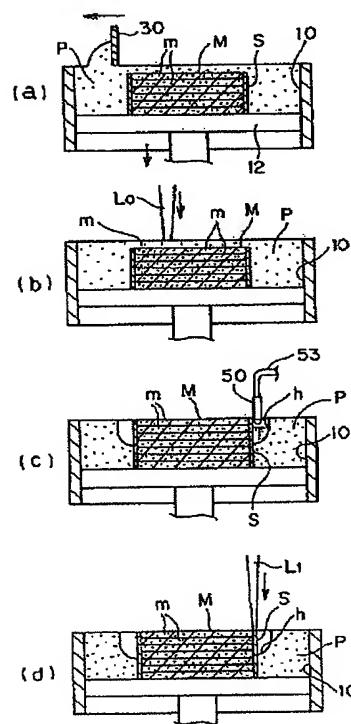
【図1】



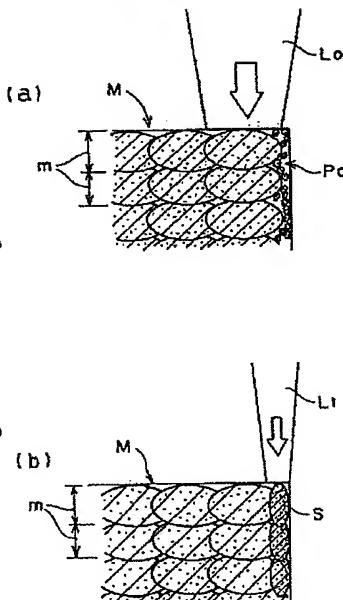
【図2】



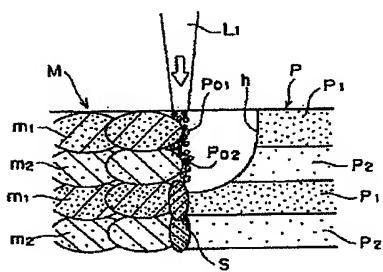
【図3】



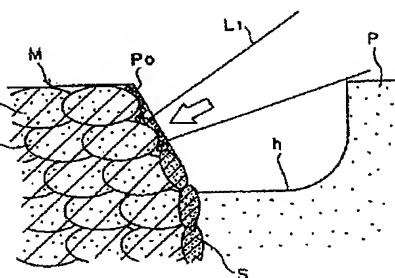
【図4】



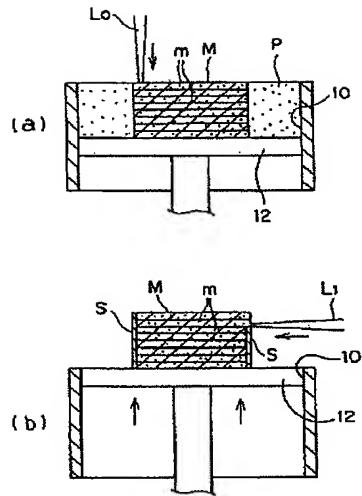
【図6】



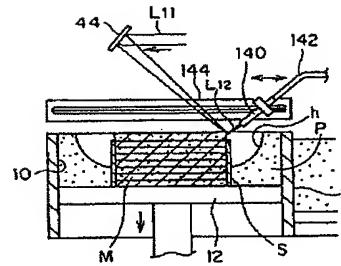
【図8】



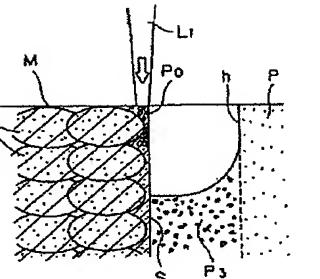
【図9】



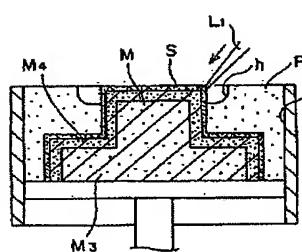
【図10】



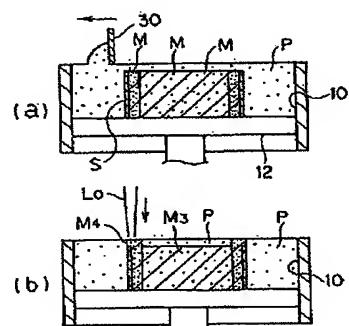
【図12】



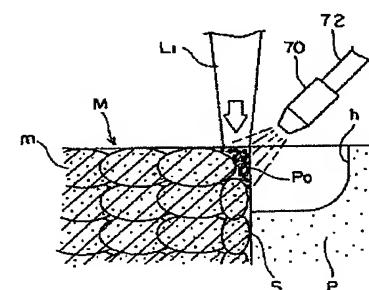
【図13】



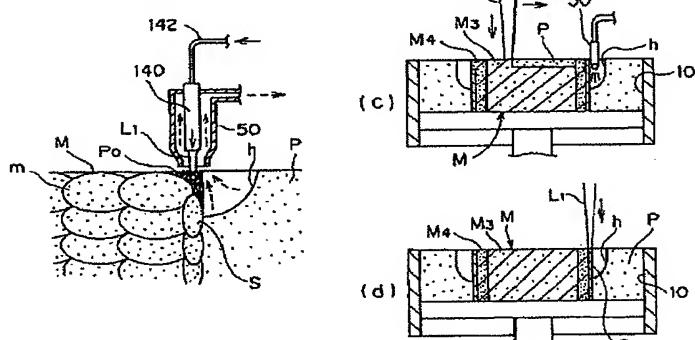
【図14】



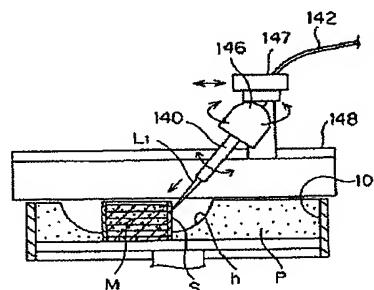
【図15】



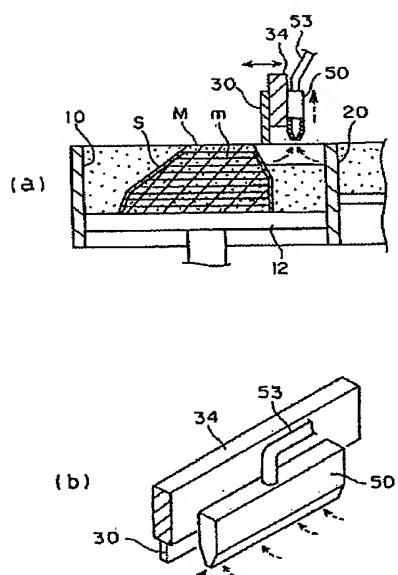
【図19】



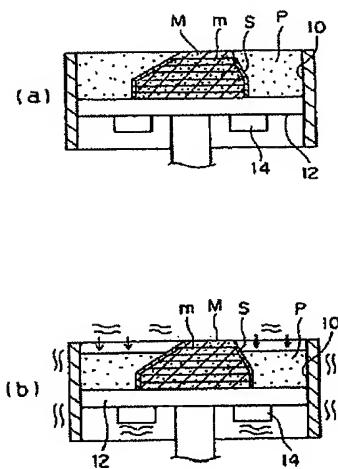
【図18】



【図16】



【図17】



## フロントページの続き

(72)発明者 東 喜万  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内  
(72)発明者 待田 精造  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内  
(72)発明者 武南 正孝  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内

(72)発明者 不破 敦  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内  
Fターム(参考) 4F213 AC04 AM25 WA22 WA25 WA97  
WL03 WL12 WL26 WL43 WL55  
WL85 WL96  
4K018 CA44 DA23 EA51 FA05 FA10  
JA05